

УДК 621.565:621.59

**М.Б. Кравченко**, канд. техн. наук

Одесская национальная академия пищевых технологий, Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. В.С. Мартыновского, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082

e-mail: [krautchenko@i.ua](mailto:krautchenko@i.ua)

## ВОЛНОВОЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ КОРОТКОЦИКЛОВОЙ АДсорбЦИИ

*Многие компании производят установки короткоциклового адсорбции (КЦА) для извлечения кислорода, азота, водорода и других газов из воздуха и различных смесей. Несмотря на это, не существует надёжной методики описания происходящих в КЦА-установках процессов. Предложена новая методика расчёта процессов короткоциклового безнагревной адсорбции (КЦА), основанная на волновом подходе к описанию нестационарных периодических процессов теплообмена. Приводится анализ решений для установок, предназначенных для получения кислорода из воздуха. Сформулированы условия, необходимые для высокоэффективной работы установок КЦА. Приведены результаты расчетов для различных марок цеолитов, позволяющие оптимизировать выбор цеолита для заданных условий работы.*

**Ключевые слова:** Волновая адсорбция. Короткоциклового адсорбция. Кислород. Азот. Адсорбент.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на международном рынке присутствуют многочисленные установки, работающие по принципу безнагревной короткоциклового адсорбции (КЦА). Эти установки позволяют извлекать из газовых смесей различные технические газы, например, такие как азот, кислород, метан, водород и другие.

Принцип работы всех современных установок безнагревной короткоциклового адсорбции аналогичен принципу работы установки для разделения газовых смесей, запатентованной в 1960 г. американским изобретателем Скарстромом<sup>1)</sup>. На рис. 1 представлена схема и циклограмма работы запатентованной установки.

Основная идея Скарстрома заключается в том, что часть производимого газа расширяется до давления, близкого к атмосферному, и затем используется для регенерации адсорбента. После расширения части газа, предназначенного для регенерации адсорбента, его объём оказывается больше объёма сжатого газа, поступающего в установку. При этом парциальное давление примеси, от которой очищается газ, становится существенно меньше её парциального давления во входящем в установку газе. За счёт этого и достигается практически полная регенерация адсорбента.

Современные установки, работающие по принципу короткоциклового адсорбции, позволяют получать продукты высокой чистоты. Так, например, в рассматриваемых ниже установках для получения кислорода из воздуха удаётся получать кислород чистотой более 90 % при коэффициенте извлечения примерно 40 % [1-5].

Принято считать, что работа установок КЦА для получения кислорода основана только на различии в величинах адсорбции различных компонентов воздуха [1-4]. Например, синтетический цеолит марки СаХ (аналог цеолита 5а), который может быть использован в установках для получения кислорода методом КЦА [2, 6, 7], действительно поглощает азот примерно в три-пять раз активнее, чем кислород. Но, строго говоря, это еще не означает, что работа установок КЦА основана на этом различии. Эта, по сути дела, гипотеза никогда не ставилась под сомнение, так как она считается вполне очевидной.

Для того чтобы понять суть рассматриваемой в данной работе проблемы, проведём простой мысленный эксперимент. Возьмем 1 м<sup>3</sup> воздуха под абсолютным давлением 6 бар и пропустим его через слой идеально отрегенированного цеолита марки СаХ, поглощающего кислород примерно в пять раз активнее, чем азот. Уравнения изотерм адсорбции кислорода и азота для данного цеолита возьмём из [3]. Графики изменения парциальных давлений кислорода и азота по мере продвижения газа в адсорбере приведены на рис. 2. Как видно из этих графиков, парциальное давление азота действительно падает быстрее, чем парциальное давление кислорода, но ведь и азота в разделяемом воздухе примерно в четыре раза больше, чем кислорода. Поэтому пересечение графиков парциальных давлений для кислорода и азота, соответствующее 50%-ной концентрации кислорода, достигается только при абсолютном давлении воздуха 1,75 бар. Иными словами, для достижения концентрации кислорода равной 50 % адсорбент должен поглотить около 75 % исходного воздуха. Макси-

<sup>1)</sup> USA Patent No. 2944627.